第 37 卷第 6 期 生 态 学 报 Vol.37,No.6
2017 年 3 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Mar.,2017

DOI: 10.5846/stxb201510232144
毕建春,陈星燎,蒋春先,李庆,封传红,马利,王海建,杨群芳.四川地区白背飞虱虫源地分析及迁入路径.生态学报,2017,37(6):1832-1843.
Bi J C, Chen X L, Jiang C X, Li Q, Feng C H, Ma L, Wang H J, Yang Q F. Origins and migration pathways of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Sichuan. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(6): 1832-1843.

四川地区白背飞虱虫源地分析及迁入路径

毕建春[1],陈星燎[1],蒋春先[1,*],李 庆[1],封传红[2],马 利[2],王海建[1],杨群芳[1]
1 四川农业大学 农学院,成都 611130
2 四川省农业厅植物保护站,成都 610041

摘要:为明确四川稻区白背飞虱迁入种群虫源地分布及迁飞路径,运用 HYSPLIT 4.8 平台和 ArcGIS 对 2012 年四川 17 个站点 5—7 月白背飞虱灯诱高峰日进行了轨迹模拟、虫源地分析,并运用气象图形处理软件 Grads 对白背飞虱主要迁入高峰日的虫源地进行风场分析。结果表明:(1)早期 5—6 月迁入四川盆地的白背飞虱主要降落于川南和川东地区,川南早期虫源主要来自越南和老挝北部和云南南部、东部及东北部地区,川东主要集中在重庆南部、湖南西部以及湘鄂渝交界处,少量来自广西西北部地区,7 月白背飞虱的迁飞因受到西南、偏南及东南气流的影响,其虫源广泛分布于云南、贵州、重庆、广西、湖南及湖北。(2)白背飞虱迁入四川盆地的路径主要有 4 支,第一支,白背飞虱随西南或偏南气流由云南经贵州西部迁入川南,或再经贵州东北部和重庆迁入川东;第二支,白背飞虱随偏南气流由广西经贵州中部迁入川南,或经贵州东北和重庆迁入川东;第三支,由湖南经重庆随东南或偏南气流迁入川东;第四支,由云南随偏南气流迁入川西。(3)由于特殊地形地势的影响,四川盆地白背飞虱的迁入始期和主要迁入期是由东南向西北发生发展;四川稻区白背飞虱主要迁入峰集中在 7 月份,早期 5—6 月高峰数较少,且集中在川南和川东地区,总体上迁入峰变化表现为由东南至西北依次减少,以上对四川稻区白背飞虱监测预警有重要意义。
关键词:白背飞虱;虫源地;迁入路径;风场分析

Origins and migration pathways of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Sichuan

BI Jianchun[1], CHEN Xingliao[1], JIANG Chunxian[1,*], LI Qing[1], FENG Chuanhong[2], MA Li[2], WANG Haijian[1], YANG Qunfang[1]
1 *College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu* 611130, *China*
2 *Plant protection station, Department of Agriculture Sichuan Province, Chengdu* 610041, *China*

Abstract: We analyzed the distribution of the origins and migration pathways of white-backed planthoppers (WBPHs), *Sogatella furcifera* (Hemiptera; Insecta), in Sichuan, China. The WBPHs were collected daily from light traps at seventeen stations between May and July, 2012. The trajectories and distributions of the source areas during the peak days of WBPH migration were simulated and analyzed using HYSPLITY4.8 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) and ArcGIS. Additionally, the meteorological backgrounds of the WBPH immigration peak source areas were analyzed using Grads (Grid Analysis and Display System). During the early migratory stage (May-June), *S. furcifera* congregated in the southern and eastern areas of Sichuan. WBPHs from south Sichuan traveled to northern Vietnam and Laos, and to the southeast and northeast of Yunnan Meanwhile, WBPHs sourced from the eastern parts of Sichuan were found south of Chongqing, west of Hu′nan, and at the border junction of Hu′nan, Hubei, and Chongqing (which partly extends into

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31201504);四川省农作物及畜禽育种攻关项目(2011nz20098-17)
收稿日期:2015-10-23; **网络出版日期**:2016-08-02
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: chunxianjiang@126.com

southwestern Guangxi). In July, influenced by the southwesterly, southerly, and southeasterly winds, the WBPH sources were widely distributed in Yunnan, Guizhou, Chongqing, Guangxi, Hu′nan, and Hubei. The main sources in early July were Yunnan, part of mid-western Guangxi, and west of Guizhou. In mid-July, the sources shifted to the northeast, namely, northeastern Yunnan to central Guizhou. Meanwhile, WBPHs originating from south Sichuan may have migrated to central and eastern Sichuan. In late July, WHPHs may have traveled from western to northern Sichuan. At other stations, the source distributions were more average. We also found four main migratory paths of WBPHs in Sichuan. The first path extends from west Guizhou to south Sichuan. Under southwest and southerly airflows, the path continues through northeast Guizhou, Chongqing, to east Sichuan. The second path extends from central Guizhou to south Sichuan, or (aided by a southerly wind) through northeast Guizhou, Chongqing to east Sichuan. The third path extends from Hunan, through Chongqing, and to east Sichuan. This path is helped by southeast and southerly air flows. The fourth path extends from Yunnan to west Sichuan under a southerly airflow. Because of the spatial topography, the WBPHs tended to migrate from southeast to northwest during the beginning and mid-period of the migration. The migration peaks varied at different stations and in different periods. The migration of WBPHs in Sichuan generally peaked in July, whereas the WBPH migrations in southern and eastern Sichuan peaked to a lesser extent in May and June. Overall, the major migration peaks were reduced from southeast to northwest. The accurate monitoring and prediction of WBPH in Sichuan is important.

Key Words: white-backed planthopper; source area; migration pathway; wind field analysis

白背飞虱是典型的迁飞性害虫[1-2],其难以治理的主要原因在于其迁飞性。自从 Asahina & Tsuroka1967 年在日本本州西南约 500 km 的太平洋海洋气象观测站首次发现大群稻飞虱越海迁飞后[3],从此拉开了稻飞虱迁飞研究的序幕。20 世纪 70 年代末至 80 年代初,我国通过全国大协作研究,查明了白背飞虱在我国的越冬北界,证实了其在我国东半部季节性南北往返迁飞的规律[1,4-5],划分了稻飞虱在我国的发生区划[6],分析了稻飞虱迁飞时的气象条件,并拟定出异地预测办法。我国白背飞虱虫源主要来自中南半岛,经东、西 2 条主要路线跨境入侵。白背飞虱在四川地区不能越冬[6],每年 3—4 月经西线,从云南入境,北向迁移扩张进入四川,在四川繁殖后,部分虫源可随气流迁入江南、长江中下游及江淮稻区发生为害[1,7]。

白背飞虱的远距离迁飞性使其发生具有突发性和爆发性的特点,这大大增加了预测预报和防控的难度,因此预测预报尤其是异地预测显得尤为重要。同时,研究迁飞性昆虫的种群特征、迁飞规律以及爆发机制,明确虫源地及虫源地的种群动态亦非常重要[8]。相对于我国东半部地区的稻飞虱研究,西南地区(包括云南、贵州、四川和重庆)稻飞虱迁飞规律以及虫源地的研究还非常薄弱。近年来,对于云南地区白背飞虱迁飞规律以及虫源地的研究取得了一系列的成果[9-12],而对于其在四川地区的迁飞规律虽有提到[7,13],但对于四川稻区不同时期白背飞虱的确切来源地却莫衷一是,对白背飞虱迁入四川稻区的路径也无清晰解答,同时虫源地的探讨也仅仅集中在个别地区[14-16],整体的迁飞规律几近空白。四川区域内地形复杂,针对四川白背飞虱种群生态学、迁飞规律和成灾机理的研究非常有限,远远不能满足当今监测预警和主动防治的需求,这也成为四川白背飞虱防控工作陷入长期被动局面的重要原因。

鉴于四川稻区白背飞虱发生严重性、迁飞环境的特殊性、未来我国杂交稻的发展趋势与四川稻区白背飞虱种群时空规律、虫源地及迁飞路径研究非常薄弱的突出矛盾,急需宏观把握四川稻区白背飞虱种群时空动态规律,明确四川稻区白背飞虱虫源地确切分布、迁飞路径以及与其他地区虫源交流情况,这对四川稻区乃至全国白背飞虱精确预警及有效防控有重要的理论和现实意义,而迁飞轨迹分析便是确定虫源地和降虫区最常用、最有效的方法之一[8]。目前多是将 HYSPLIT 轨迹模拟平台与 GrADS 天气分析显示系统及 ArcGIS 地理信息系统相结合的方法对各地区的白背飞虱迁入高峰进行迁飞路径模拟、降落机制分析和虫源地探讨。而标记释放与回收进一步验证了 HYSPLIT 模型的准确度[8]。2012 年是四川稻区近 60 年来稻飞虱的特大发生年[15],因此本文用 HYSPLIT 4.8 平台对 2012 年四川稻区不同时期、不同方位站点的白背飞虱迁入峰进行回

推轨迹模拟,并结合 ArcGIS 软件以期阐明四川稻区迁入种群虫源区的确切分布以及迁飞路径,从而为实现四川稻区白背飞虱精确预警及有效防控提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 资料来源

虫情资料:2012 年白背飞虱历史灯诱虫情数据由四川省各县植保植检站提供。根据各个站点所处的地理位置的不同,将其分别归类为,川东、川西、川南、川北和川中,并且各站点灯诱资料的具体时段见表 1,具体位置分布见图 1。

水稻生育期:包括云南、贵州、广西、广东、海南、江西、湖南、湖北、重庆和四川 4—7 月份分旬水稻生育期资料。均从中国气象科学数据共享网(http://cdc.cma.gov.cn)下载

地图资料:中国省级行政区图和国家基础地理信息中心网站(http://ngcc.sbsm.gov.cn)下载。

表 1 四川各站点灯诱资料及其时空分布

Table 1 Light-trapping data and spatiotemporal distribution of sites in Sichuan Province

地理分布 Geographical distribution	站点 Stations	相关时段 Related period	经纬度(°E/°N) Longitude/Latitude	地理分布 Geographical distribution	站点 Stations	相关时段 Related period	经纬度(°E/°N) Longitude/Latitude
川东 East of Sichuan Province	蓬安	5 月—7 月	106.41/31.02	川南 South of Sichuan Province	南溪	5 月—7 月	104.97/28.84
	大竹	5 月—7 月	107.20/30.74		叙永	4 月—7 月	105.51/27.98
	武胜	6 月—7 月	106.30/30.38		泸县	5 月—7 月	105.64/29.08
	达县	5 月—7 月	107.51/31.20		兴文	4 月—7 月	105.23/28.30
	邻水	5 月—7 月	106.91/30.33	川北 North of Sichuan Province	三台	6 月—7 月	105.06/31.10
	射洪	5 月—7 月	105.38/30.87		青川	7 月	105.23/32.57
川西 West of Sichuan Province	汉源	7 月	102.65/29.34	川中 Middle of Sichuan Province	仁寿	6 月—7 月	104.19/30.04
	盐源	6 月—7 月	101.51/27.42		资中	7 月	104.81/29.81
					威远	6 月—7 月	104.74/29.52

高空气象资料:美国环境预报中心(The National Weather Service′s National Centers for Environmental Prediction,简称 NCEP)FNL(Final Operational Global Analysis)再分析数据(全球每 6 h 一次,水平分辨率 1°×1°)。从 http://rda. ucar. edu/datasets/ds083. 2/index. html#description 下载。

降水资料:从中国气象科学数据共享网(http://cdc.cma.gov.cn)下载。

1.2 研究方法

1.2.1 划分迁入峰

年度白背飞虱迁入峰具体划分方法为:从灯下出现稻飞虱突增日到高峰后突减日为止,为一个峰期,峰期中虫量最多的日期为高峰日;前一峰的突减日和后一峰的突增日之间相距 3 d 以内(含 3 d)的,则计入同一个峰期。

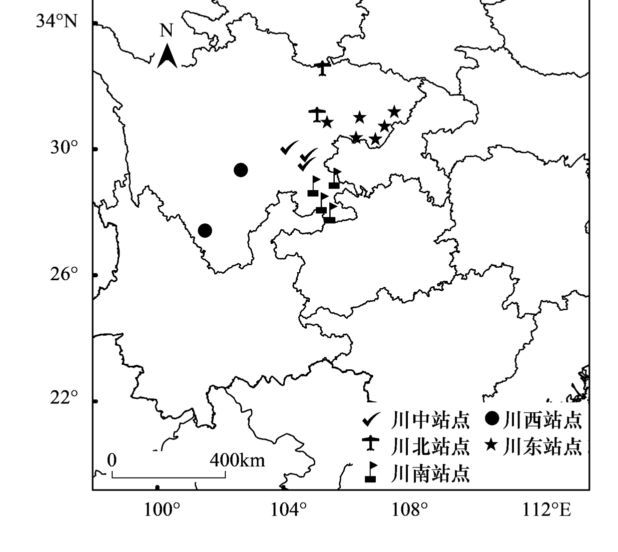


图 1 四川白背飞虱灯诱站点分布

Fig.1 Distribution of WBPH lighttrapping stations in Sichuan Province

1.2.2 轨迹分析与参数设置

轨迹分析采用美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration,简称 NOAA)与澳大利亚国家气象局(Australian Bureau of

Meteorology)共同开发的大气质点轨迹分析平台 HYSPLIT 4.8 进行在线模拟。轨迹分析的生物学参数设定:逆推以诱虫灯的位置为起点;白背飞虱顺风迁移[4,17-18];白背飞虱夏季迁飞高度可达 1500—2000 m[1,4,19],飞行的最适温度为 17—22℃[5,7],结合各地区的地形特点和不同高度的气温差异,设定轨迹起始高度为距地 800,1000,1500,2000 m;白背飞虱在日出前和日落后 1h 内起飞[17,20-21],回推轨迹以降虫区为起点,降落日期即为灯诱高峰日,以晨昏朦影时刻作为轨迹回推的起始时刻,回推至稻飞虱虫源地的起飞时刻[17,22-23]。本文以降虫峰日作为回推起始日期,以前一日 20 点至当日 5 点内整点时刻为起始时刻,每隔 1 h 回推一次,在此讨论的是白背飞虱长距离迁飞,飞行时长设为 24—33 h。

有效轨迹判定标准:(1)轨迹终止点的时间必须符合白背飞虱的迁出起飞节律[20,24];(2)轨迹终止点必须在水稻种植区;(3)该稻区能提供白背飞虱的迁出虫源,并处于迁出高峰[25-26]。以上三个条件缺一不可,以此进行轨迹的取舍或调整。

在 Excel 中将 Hsplit 中得到的符合条件的轨迹落点导入 ArcGIS 10.0 中,结合有效轨迹判定标准筛选出有效落点,然后与底图迭加,成图显示,再根据落点坐标按 1°× 1°绘制网格。其中数字即代表落点数的个数,而颜色的深浅则代表落点数的多少,颜色深表示落点数多,反之则少。

风场分析:利用 Excel 对 Grads 软件将下载的 Fnl 气象资料得出的各虫源地风向进行汇总统计,计算各地各旬或各月的风向频率,并生成 8 个方位的风向玫瑰图,将得到的玫瑰图插入 ArcGIS 中迭加成最终风向图。风向标准按照气象学风向分类标准,分为北—N,东北—NE,东—S,东南—SE,南—S,西南—SW,西—W,西北—NW 8 个方位,对应角度范围分别为 337.5°—22.5°、22.5°—67.5°、67.5°—112.5°、112.5°—157.5°、157.5°—202.5°、202.5°—247.5°、247.5°—292.5°、292.5°—337.5°。

2　结果与分析

2.1　白背飞虱灯下虫情时空动态分析

通过对 2012 年 4—7 月四川各站点灯诱数据分析可以看出,各站点白背飞虱始见期和诱虫量差异明显(图 2)。

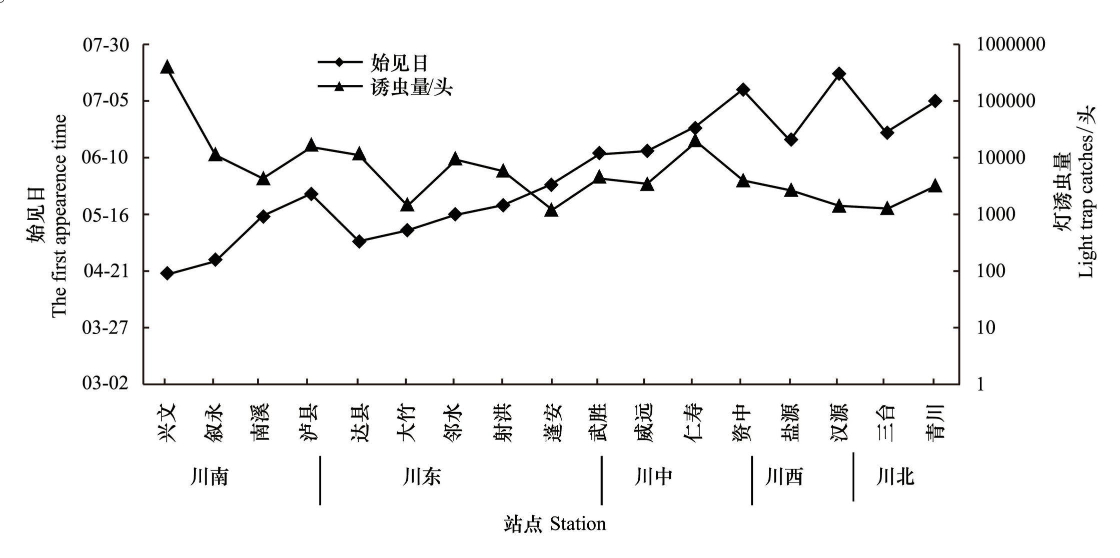


图 2　2012 年四川各站点白背飞虱始见日和诱虫量

Fig.2　Dates of first appearance and WBPH light-trap catches in Sichuan Province, 2012

其中,白背飞虱始见日最早出现在川南各站点,为 4 月下旬到 5 月下旬,其中兴文为最早,始见日是 4 月 20 日,其次为叙永,4 月 26 日;然后是川东各站点,为 5 月上旬到 6 月中旬,达县始见日为 5 月 4 日,其次大竹始见日为 5 月 9 日;川西、川北和川中各站点始见日出现在 6 月中旬到 7 月中旬,最晚为川西的汉源,其始见日为 7 月 17 日。因此可以看出,白背飞虱在四川地区最早出现在川南,其次为川东。

白背飞虱诱虫量最多的是川南地区,其次是川中和川东地区,川北和川西各站点平均诱虫量相对较少。

因此,由灯下始见日和各站点不同时间灯诱情况可知,四川白背飞虱具有明显的由东南向西北依次推迟发生的特点,并且其发生程度也依次减弱。

2.2 四川地区白背飞虱主要迁入峰期和峰次分析

根据 2012 年各站点监测虫情,将四川各地区白背飞虱迁入峰期归纳如下:川南主要迁入期为 5 月 7—9 日,6 月 10 日、14 日、19 日和 28—29 日,7 月 5 日、10 日、15—17 日、20—22 日和 30 日;川东主要迁入峰为 6 月 19 日、24—25 日、28—29 日,7 月 2—5 日、7—12 日、20—21 日和 27—28 日;川中主要迁入期为 7 月 7 日、11—12 日、16—17 日、20 日、22—23 日、27—29 日;川西主要迁入期为 7 月 15 日、20—21 日、27—28 日和 31 日;川北主要迁入期为 7 月 17—18 日、26—28 日、30—31 日。

可以看出:四川地区白背飞虱迁入峰主要集中在 7 月份,而 5 月份和 6 月份高峰数相对较少。不同站点、不同时期迁入峰各不相同,四川白背飞虱主要迁入峰期随时间变化表现为,由东南向西北依次减少,并且发生重点集中在川南和川东。

2.3 虫源地分析

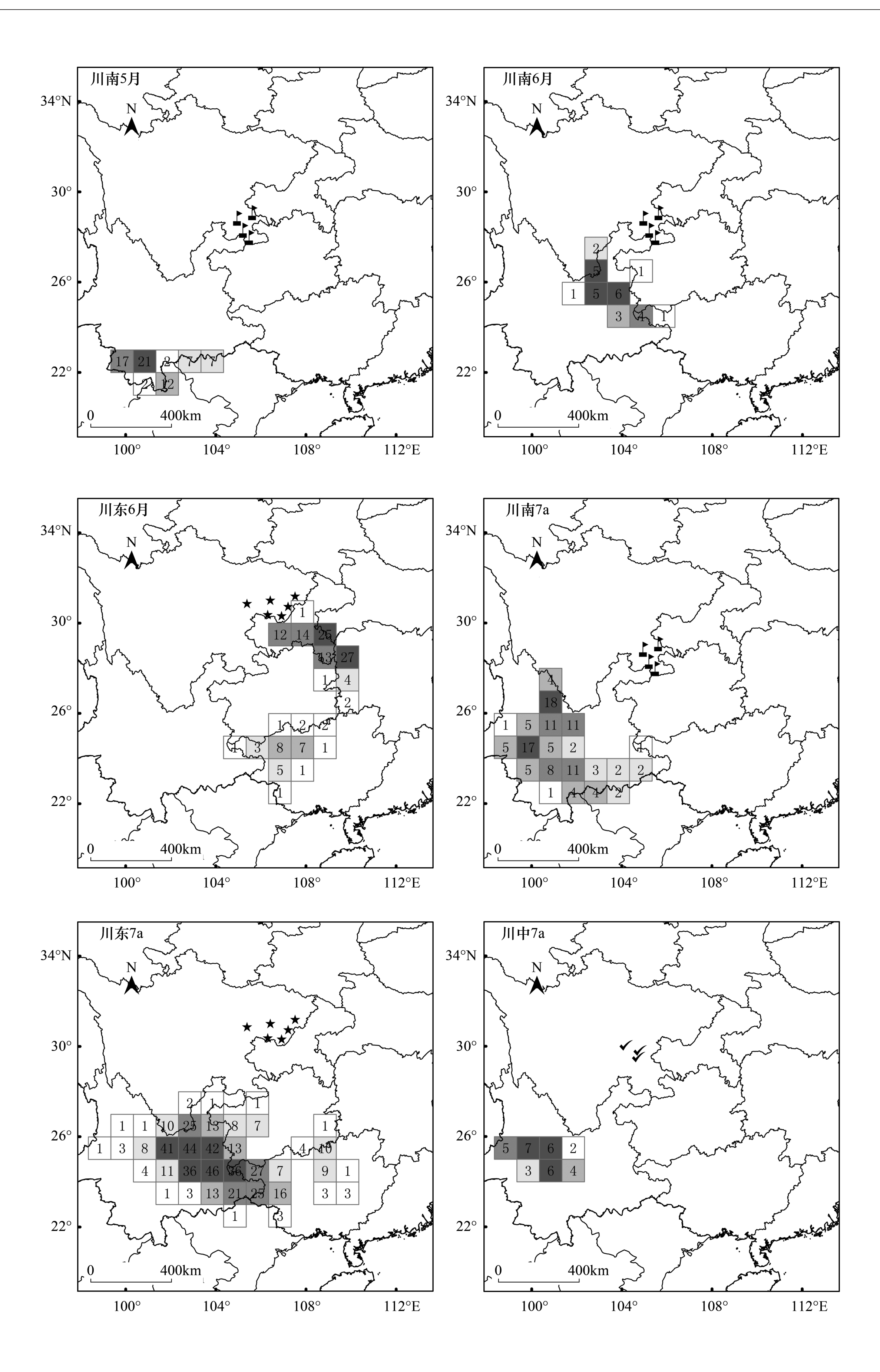
运用 HYSPLIT 4.8 对 2012 年四川 17 个站点的白背飞虱迁入高峰日进行回推轨迹分析;并结合各个落点的水稻生育期情况,得到有效轨迹落点 2187 个。由于四川各地区白背飞虱迁入高峰日各不相同,因此本文以时间顺序来阐述四川各稻区白背飞虱虫源地的分布情况(图 3)。

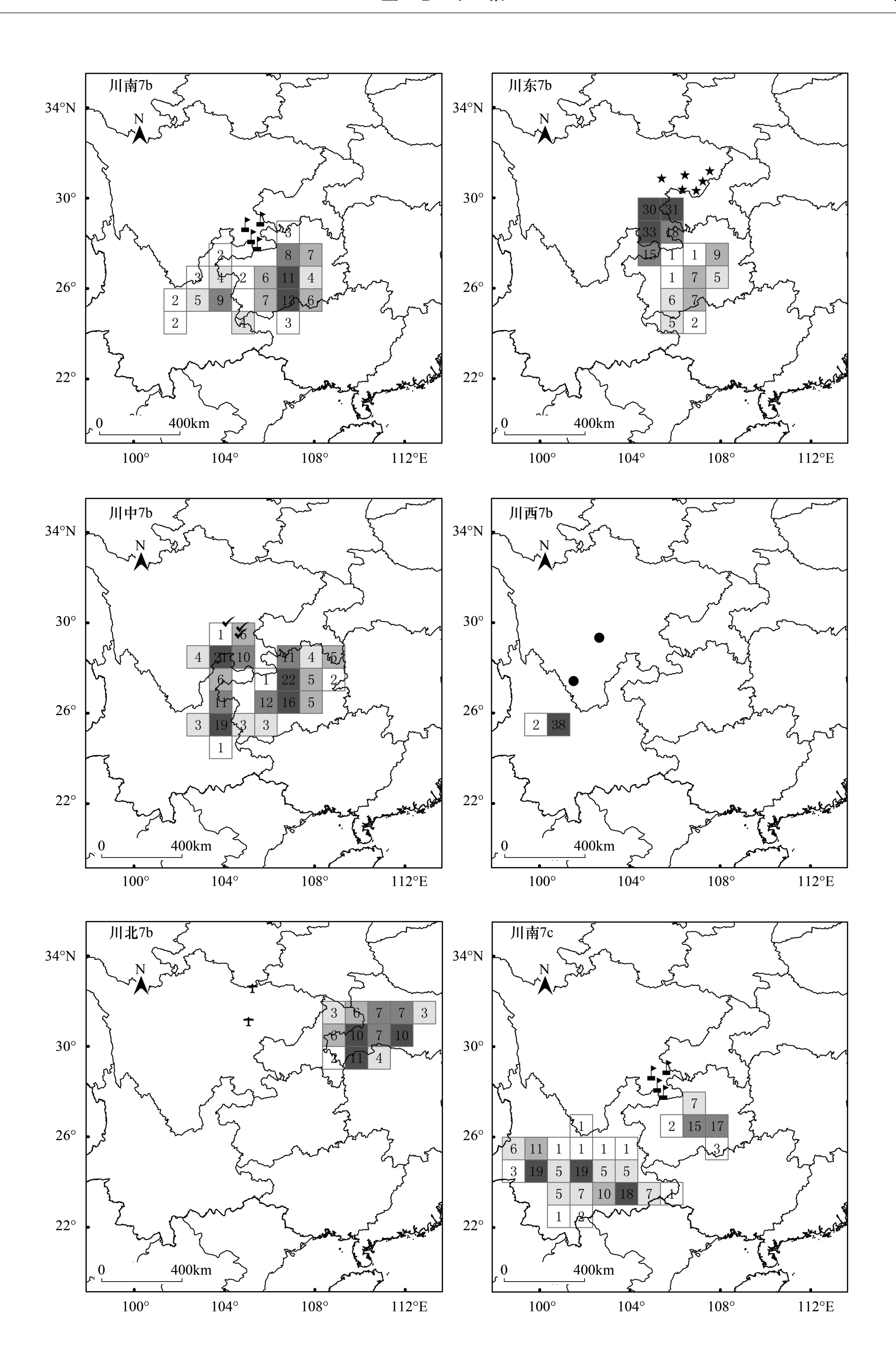
5 月份白背飞虱迁入高峰集中在川南稻区,并以叙永和兴文为主,其虫源地集中在云南南部以及越南和老挝的北部;6 月份只有川南稻区和川东稻区有明显的白背飞虱迁入,川南虫源地主要分布在云南东部和东北部地区;而川东稻区虫源与川南有明显的不同,主要集中在重庆南部、湖南西部以及湘鄂渝交界处,此外,广西西北部地区可以提供少量的虫源。

7 月份整个四川稻区均出现白背飞虱迁入高峰,属于白背飞虱大量迁入的时间段,其虫源分布比较复杂,川东、南、西、北和中部稻区虫源地各有不同,并且各稻区在 7 月不同的时间段其虫源分布也各不相同。为了能够更为精确的分析各个稻区的虫源,将 7 月划分为上中下三旬分别进行分析(图 3)。7 月上旬有迁入高峰的有川南、川东和川中地区,其中川南稻区虫源主要分布在云南地区;川东虫源主要分布在云南东部和北部,广西中西部及贵州西部可提供少量虫源;川中虫源主要分布在云南中西部;7 月中旬四川稻区均有白背飞虱迁入高峰;川南虫源分布在云南东北部、贵州中部地区;川东虫源主要分布在川南、川中和重庆西部,贵州中部地区可以提供少量的虫源;川中虫源主要分布在川西南部、贵州地区以及云南东部地区;川西虫源分布在云南北部;川北虫源分布于湖北西部以及鄂渝交界处;7 月下旬,川南虫源主要分为两个部分,其中一个是云南地区,另一个为贵州中部地区;川东虫源较为复杂,贵州西部、云南东北部、湘黔交界处;川中虫源分布较为简单,主要集中贵州地区,云南可提供少量虫源;川西虫源分布在云南西部和北部以及攀西,表明攀西更南方向的稻区可以为偏北的稻区提供虫源;川北虫源分布比较复杂,川南、东、中部均可为川北提供虫源,此外贵州东部以及重庆中西部也可为其提供部分虫源;

2.4 虫源地分布与高空风向频率的关系

由虫源地分析可知,川东 5—6 月份虫源来自两广、湖南、重庆和江西等地,分析各虫源地 850 hPa 风向得知(图 4A、B),云南南部至中部以西南或偏南气流占绝对优势地位,贵州东北部以偏东和东南气流为优势气流,使得云南方向而来的西南或偏南气流无法到达川东地区,而广西西北、湖南西部等虫源地东南、西南和偏南气流频率相差不多,重庆以偏南和东南气流为优势气流,因此,川东早期的虫源地位于其东南方向,在重庆至湖南呈现出东南—西北分布,在广西西北部呈现出南—北分布;进一步统计 7 月上旬各地风向(图 4C),云南方向西南或偏南气流进一步加强,贵州东北部至重庆西南部偏南气流增加,偏东或东南气流比例减少,湖南西部偏东气流减弱至最低,偏南或西南气流占据绝对地位,因此川东虫源地相应的向西南方向移动,位于云南东北至广西西北一带;到 7 月中旬(图 4D),广西偏南风频率增加,湖南西部仍受到偏南和西南气流影响,使得


川南5月
川南6月
川东6月
川南7a
川东7a
川中7a
N
34°N
30°
26°
22°
100°
104°
108°
112°E
0
400km


川南7b
川东7b
川中7b
川西7b
川北7b
川南7c
34°N
30°
26°
22°
100°
104°
108°
112°E
N
0
400km

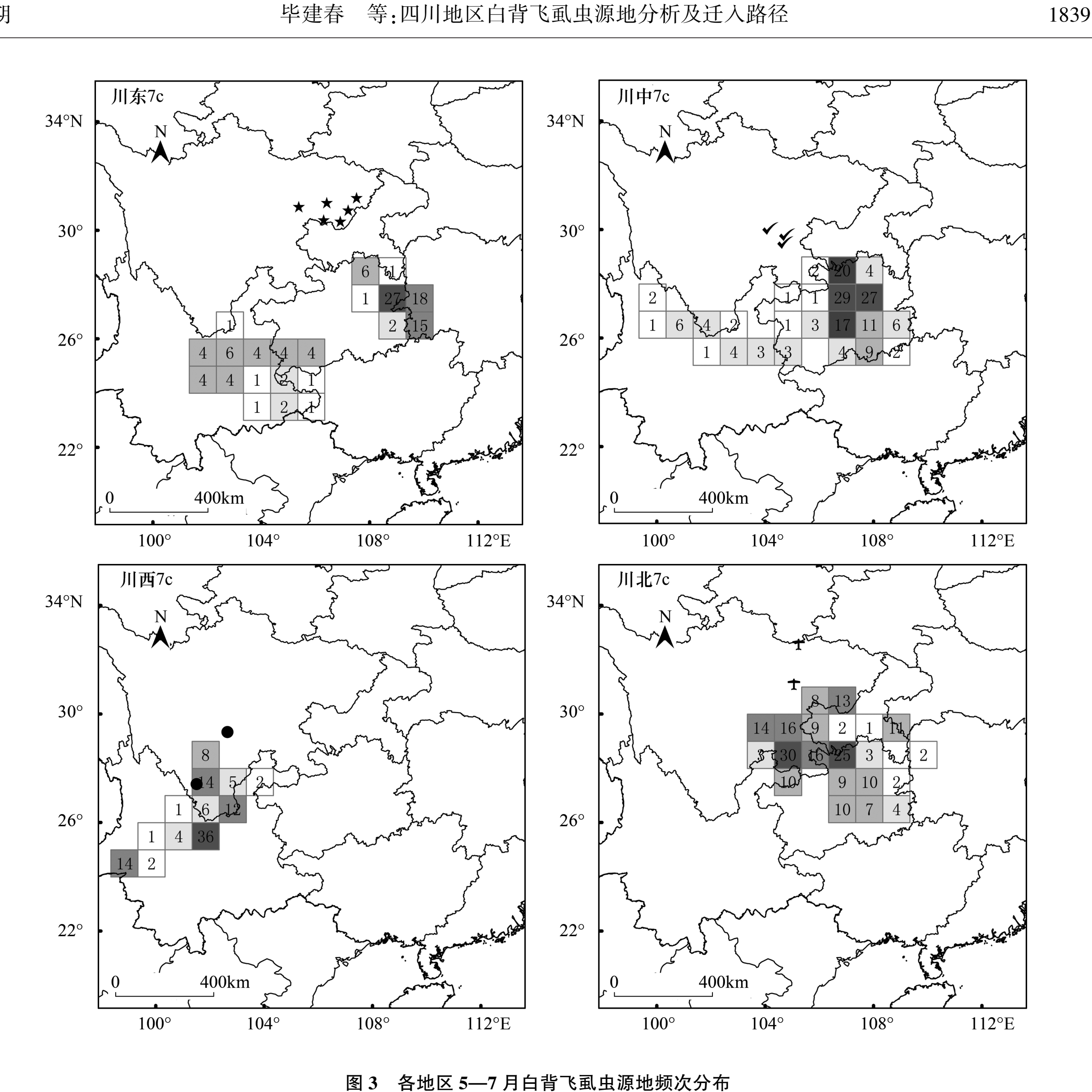


图 3　各地区 5—7 月白背飞虱虫源地频次分布

Fig.3　Frequency distribution of WBPH source areas from May-July at different sites

7a: 7 月上旬 Early July; 7b: 7 月中旬 Middle July; 7c: 7 月下旬 Late July

贵州西部受到云南方向而来的偏南或西南气流影响减少,中部至南部受到广西而来的偏南气流影响增加,因此其虫源区移动至贵州中部和四川中南部;下旬时(图 4E),云南南部、贵州和广西地区西南风和偏南风减弱,各个风向的频率较为平均,此时湖南西部西南和偏南气流减弱,东南和偏东气流增强,川东同时受到西南和东南气流的影响,其虫源区一部分位于云南东北部,呈现东—西分布,落点较为分散,另一部分位于贵州西部至湖南西部一带,呈现东南—西北分布,较为集中。

川北地区于 6 月下旬至 7 月上旬始见白背飞虱,中下旬开始有明显的迁入高峰。由虫源地分布可以看出,湖北、湖南南部、贵州以及川东、南和川中地区均可以成为其虫源地,其主要受到偏东、东南和偏南气流的影响,唯独川西地区无法为其提供白背飞虱虫源。进一步分析各虫源地 850 hPa 高空风向频率可知(图 4D、E),川西的汉源站点其受到西南或偏南方向的气流影响很小,使得偏西一带没有合适的运载气流,使得白背飞虱向北迁飞,因此无法为川北提供虫源。

2.5　白背飞虱迁入四川盆地的时间及主要路径

四川盆地由于四面环山,且山脉大多都在 1000 m 以上,造成气流闭塞,使得白背飞虱降落和发生特点有其独特性[13]。白背飞虱主要由3个方向迁入盆地,川西、川南和川东,根据灯诱资料和虫源地结果,总结

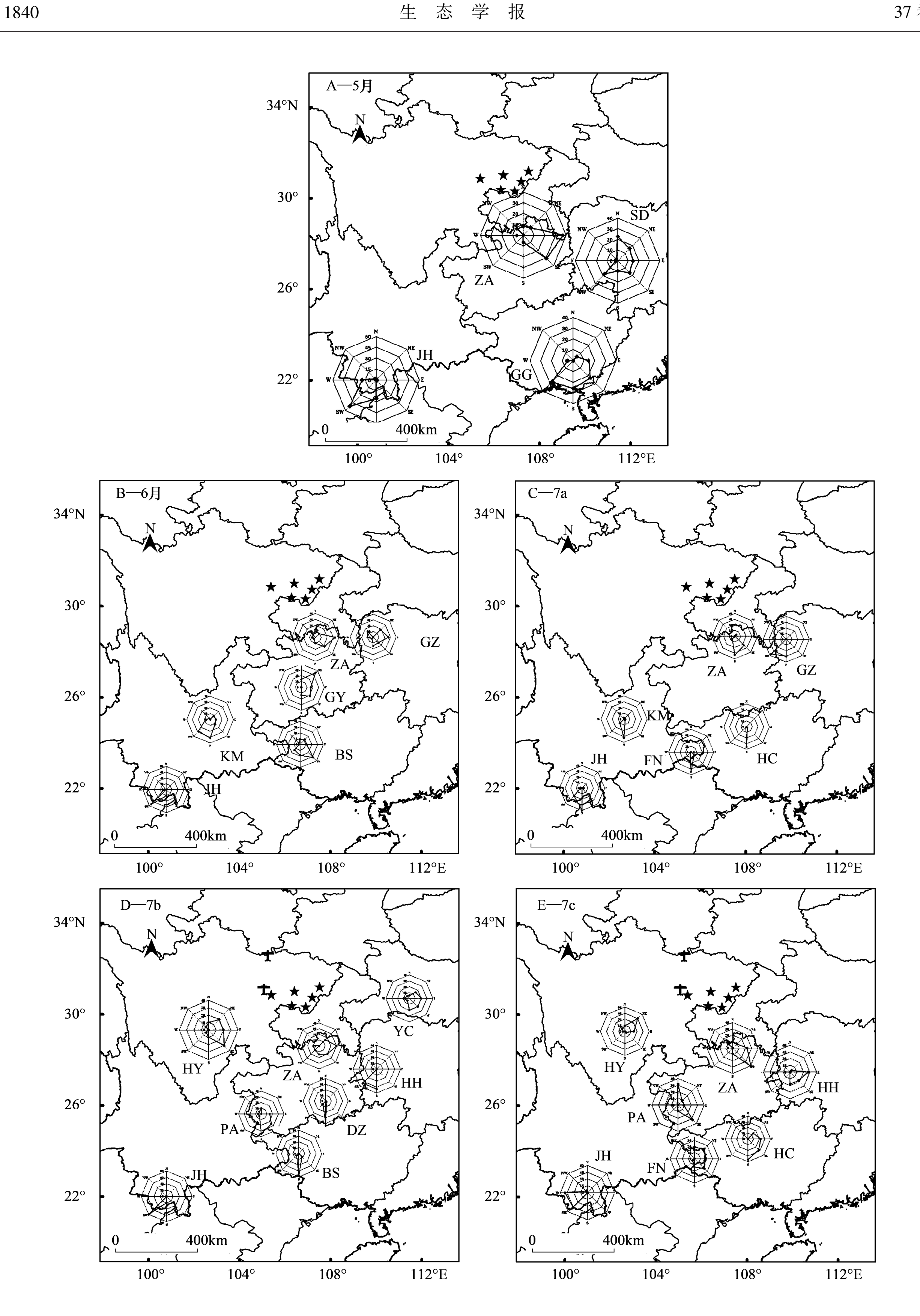


图 4 2012 年四川地区虫源地 850hPa 等压面各月风向频次分布

Fig.4 Frequency of monthly wind directions at the Sichuan source areas of Sichuan Province at 850 hPa, 2012

7a：7 月上旬 Early July，7b：7 月中旬 Middle July，7c：7 月下旬 Late July；JH：景洪 Jinghong，KM：昆明 Kunming，FN：富宁 Funing，PA：普安 Pu′an，ZA：正安 Zheng′an，GY：贵阳 Guiyang，HC：河池 Hechi，BS：百色 Baise，GG：贵港 Guigang，HH：怀化 Huaihua，GZ：古丈 Guzhang，SD：邵东 Shaodong，HY：汉源 Hanyuan，YC：宜昌 Yichang，DZ：丹寨 Danzhai

2012 年白背飞虱迁入四川盆地的主要时间和路径。

川西:白背飞虱迁入路径最为简单,只有路径 1(图 5A),6 月—7 月份均是随西南或偏南气流由中南半岛北部至云南南部一带、云南西南部,经云南北部越过横断山脉迁入。

川南:白背飞虱迁入川南有两条线路,即路径 2 和路径 3(图 5A)。路径 2,4 月下旬至 5 月下旬,白背飞虱随西南或偏南气流由中南半岛北部至云南南部一带,经云南东北和贵州西部迁入川南地区;6 月至 7 月份由云南地区经其东北部和贵州西北部迁入(路径 2),或由广西随偏南气流经贵州中部迁入(路径 3);

川东:5 月—6 月份白背飞虱迁入川东的路径有两条(图 4B)。其一是路径 5,即是由广西随偏南气流经贵州东北部、重庆迁入川东;另一条是路径 6,即随东南气流由广东、江西、湖南西部和重庆一路迁入。7 月份迁飞路径较为多样复杂,路径 4、路径 5 和路径 6 在上中下各旬均有迁入,其中路径 4(图 4B),即随西南或偏气流由云南地区,经贵州西部和东北部、重庆迁入。

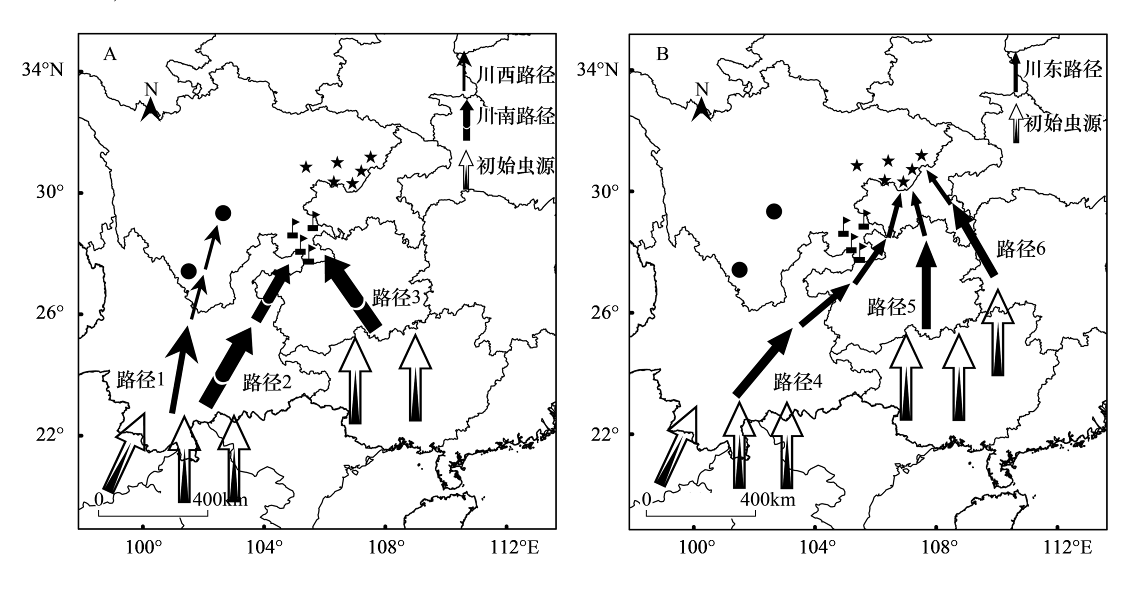


图 5　2012 年四川盆地白背飞虱迁入路径图

Fig.5　Migration pathway of WBPH in Sichuan Province, 2012

3　结论与讨论

白背飞虱发生程度受虫源地发生情况、迁入时间和气象因素的直接影响[10],此外其迁飞和降落也要受到气象条件和降虫地的地形地势影响。四川盆地白背飞虱的迁入始期和主要迁入期的方向与我国大部分地区由南向北推进不同,其主要原因是受到四川盆地特殊地形地势的影响。白背飞虱初始迁入盆地的方位主要是川东、川南和川西地区。川西站点位于邛崃山脉西侧,其东侧、南侧、西北侧均有高山,导致其主要受到云南方向的偏南气流和高原方向的偏北气流的影响,而由于邛崃山脉对偏南的气流起到了一定的阻挡作用,因此白背飞虱较少由川西站点迁往盆地其他方向,而川东和川南则无明显的高山阻挡,有由南向北的偏南气流和由东向西的偏东或东南气流(图 4D、E),白背飞虱可以迁往其他方向的站点。因此,形成了盆地白背飞虱由东南向西北方向推进的模式[7]。

影响白背飞虱迁入四川盆地川东、川南和川西站点早晚的因素也不尽相同。早期(4 月—5 月上旬)我国大部稻区水稻生育期处于播种—移栽期,无法提供白背飞虱虫源,只有云南南部、两广南部—海南以及老挝越南可以提供虫源。4 月下旬以前四川盆地还处于偏北气流控制之下,并且 16℃ 等温线在云贵交界处徘徊,直到下旬才扩展至四川盆地,此时云南、贵州中部至川南处于西南气流控制之下,因此 4 月下旬川南地区即可见虫,推测其虫源来自于老挝、越南北部至云南南部一带,同时贵州东北部至重庆、川东一带却处于东南、偏东或偏北气流控制之下,云南方向的白背飞虱无法到达川东地区,而川东 5 月上旬可见白背飞虱,推测其可能于两

广南部随偏南风而至。当个别年份西南气流强劲至影响到川东地区,其白背飞虱始见日则可能提前,由路径4迁入川东(图5B)。因此西南气流的强弱和16℃等温线是影响川南和川东白背飞虱迁入早晚的重要因素。与此同时川西虽然也处于西南或偏南气流的影响之下,但由于春季白背飞虱迁飞高度较低,加上云贵高原的阻挡作用,使得白背飞虱不能随偏南或西南气流进入盆地西部[7,13],直到夏季(6—8月份)迁飞高度增加后才能越过高山进入西部地区,因此其白背飞虱始见日最早出现在6月份,靠北的站点更是7月份灯下才出现白背飞虱,而此时川东和川南白背飞虱则已开始频繁迁入。

由于白背飞虱各代长翅型成虫出现比率高(一般80%),具有一定比率向外迁飞的特性[1],与水稻生育期的关系没有褐飞虱与水稻的关系那么密切[27],其每一代只要天气条件适宜,则均可迁出。7月份时,由于各地水稻开始进入生长的中后期,白背飞虱也已至少繁殖一代以上,所以可以提供白背飞虱虫源的范围大大增加,相应的其迁飞路径更为复杂多变,不同的气象背景会导致不同的白背飞虱迁飞路径。由图3虫源地分布可以看出,不同月份中,5月和6月白背飞虱的虫源地分布较为简单,而7月则比较复杂,7月份之前各稻区刚处于白背飞虱开始迁入时期,水稻生长发育也处于前期,可提供白背飞虱虫源的稻区较少,而且各地的风向比较单一,均具有明显的优势风向,因此川南和川东的虫源地分布比较简单,轨迹落点较为集中。不同地区中以川西的虫源地分布最为简单,只在云南西部和北部一带,最为复杂的属川东,其虫源地分布于云南、贵州、广西、湖南、重庆以及川南和川中一带。造成这种差异的原因是川东和川西所受到气流的影响差异巨大。川西由于其地理位置,与云南交界处被高山包围,只单一的受到由云南方向而来的偏南气流的影响,因此其虫源地范围较小,只在云南,而川东则同时受到云南方向的西南气流、广西方向的偏南气流以及湖南方向的东南气流的共同影响,因此其虫源地范围巨大,虫源组成复杂。

不同的地理条件、不同天气系统和虫源的空间分布差异形成了稻飞虱降落分布的时空差异[28],而稻飞虱远距离迁入和大型天气系统的分布变化与移动密切相关,但由于迁飞路径上常有中小系统的存在和自然地理条件的影响,各地水平输送虫量是不同的,甚至相邻地区也会出现截然不同的现象[13]。7月10日20:00川东地区850 hPa高空出现低涡天气系统,“低涡”偏东方向由于由广西而来的偏南气流与偏北的气流在此相遇,而形成大面积强降雨天气,使得白背飞虱迫降于此,而“低涡”偏北和偏西方向是由偏北气流控制,携虫的偏南气流无法到达,因此此时在“低涡”偏东的站点,如大竹、达县与邻水出现白背飞虱迁入峰,而其他处于“低涡”偏北或偏西的川东站点并无白背飞虱迁入峰。

此外,本文仅对2012年一年的数据进行了分析,为明确四川盆地白背飞虱发生发展的规律,还需多年的资料进行进一步的分析。

参考文献(References):

[1] 全国白背飞虱科研协作组. 白背飞虱迁飞规律的初步研究. 中国农业科学, 1981, 14(5): 25-31.

[2] 汤金仪, 胡伯海, 王建强. 我国水稻迁飞性害虫猖獗成因及其治理对策建议. 生态学报, 1996, 16(2): 167-173.

[3] Asahina S, Turuoka Y. Records of the insects visited a weather-ship located at the ocean weather station 'Tango' on the Pacific, II. The Entomological Society of Japan, 1969, 37(3): 290-304.

[4] 邓望喜. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. 植物保护学报, 1981, 8(2): 73-82.

[5] 刘芹轩, 吕万明, 张桂芬. 白背飞虱的生物学和生态学研究. 中国农业科学, 1982, 15(3): 59-66.

[6] 胡国文, 谢明霞, 汪毓才. 对我国白背飞虱的区划意见. 昆虫学报, 1988, 31(1): 42-59.

[7] 胡国文, 汪毓才, 谢明霞. 我国西南稻区白背飞虱, 褐稻虱的迁飞和发生特点. 植物保护学报, 1982, 9(3): 179-186.

[8] 芦芳, 翟保平, 胡高. 昆虫迁飞研究中的轨迹分析方法. 应用昆虫学报, 2013, 50(3): 853-862.

[9] 王政, 齐国君, 吕利华, 胡芊, 袁维熙. 广东白背飞虱早期迁入种群的虫源地分析. 应用昆虫学报, 2011, 48(5): 1253-1259.

[10] 沈慧梅, 吕建平, 周金玉, 张孝羲, 程遐年, 翟保平. 2009年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制. 生态学报, 2011, 31(15): 4350-5364.

[11] 蒋春先, 韦加贵, 张云慧, 李庆, 程登发. 云南富宁县白背飞虱早期迁入虫源地及降落机制分析. 四川农业大学学报, 2012, 30(2): 232-237.

[12] 郑大兵, 崔茂虎, 何洪平, 沈慧梅, 胡高, 陈晓, 翟保平. 云南师宗白背飞虱前期迁入种群的虫源地分布与降落机制. 生态学报, 2014, 34(15): 4262-5271.

[13] 向卫国, 胡红兵, 万军, 胡毅, 何树林, 何明. 四川水稻稻飞虱发生的天气环流型式分析. 成都气象学院学报, 1995, 10(3): 211-219.

[14] 刘苡宸, 毕建春, 衡晓容, 刘子欣, 安伟, 蒋春先. 2009 年四川米易地区白背飞虱早期迁入虫源分析. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(12): 50-55.

[15] 毕建春, 陈星燎, 彭晓明, 封传红, 马利, 蒋春先, 李庆, 王海建, 杨群芳. 四川叙永白背飞虱早期迁入种群虫源地分布与降落机制研究. 中国水稻科学, 2014, 28(5): 541-550.

[16] 向薇薇, 曾伟, 陈星燎, 蒋春先, 封传红, 马利, 李庆, 杨群芳, 王海建. 川东地区白背飞虱迁入种群虫源地分布与降落机制. 昆虫学报, 2015, 58(3): 308-318.

[17] 翟保平, 张孝羲, 程遐年. 昆虫迁飞行为的参数化Ⅰ.行为分析. 生态学报, 1997, 17(1): 7-17.

[18] Furuno A, Chino M, Otuka A, Watanabe T, Matsumura M, Suzuki Y. Development of a numerical simulation model for long-range migration of rice planthoppers. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 133(1/4): 197-209.

[19] 封传红, 翟保平, 张孝羲, 汤金仪. 我国低空急流的时空分布与稻飞虱北迁. 生态学报, 2002, 22(4): 559-565.

[20] 翟保平. 昆虫行为研究中日长的计算. 昆虫知识, 2004, 41(2): 178-184.

[21] 华红霞, 邓望喜, 张宏宇, 郑华. 长江中游稻区夏季飞机航捕迁入白背飞虱的轨迹分析. 华中农业大学学报, 2003, 22(4): 325-330.

[22] 胡高, 包云轩, 王建强, 翟保平. 褐飞虱的降落机制. 生态学报, 2007, 27(12): 5068-5075.

[23] 芦芳, 齐国君, 陈晓, 董西贵, 郭玉人, 武向文, 倪秀红, 陈时健, 张纪英, 张孝羲, 翟保平. 上海地区 2007 年褐飞虱的后期迁入和虫源地的个例分析. 生态学报, 2010, 30(12): 3215-3225.

[24] 罗举, 汪远昆, 张孝羲, 翟保平. 白背飞虱的迁飞生物学: 起飞与迁出. 应用昆虫学报, 2011, 48(5): 1202-1212.

[25] 张孝羲. 昆虫迁飞的类型及生理、生态机制. 昆虫知识, 1980, 17(5): 236-239.

[26] 刁永刚, 张国, 杨海博, 瞿钰锋, 张孝羲, 翟保平. 白背飞虱的迁飞生物学: 安徽徽州个例分析. 应用昆虫学报, 2011, 48(5): 1222-1230.

[27] 杨帆, 郑大兵, 赵运, 王丽, 徐杨洋, 齐国君, 徐劲峰, 吴彩玲, 张孝羲, 程遐年, 翟保平. 白背飞虱的迁飞生物学: 安徽潜山个例分析. 应用昆虫学报, 2011, 48(5): 1231-1241.

[28] 包云轩, 程极益, 程遐年. 盛夏褐飞虱北迁大发生的气象背景: 个例分析. 南京农业大学学报, 1999, 22(4): 35-50.